



Cover Story

영화 'Tomorrow'를 통한 한파의 과학적 가능성과 오류



장대원

Noaa Solution 기술연구소장

1. 일찍 찾아온 매서운 한파

2012년 12월, 연일 계속되는 한파와 폭설에 언론에서는 기상이변 또는 지구온난화에 따른 영향이라는 기사를 연일 게재하고 있다. 기상청에 따르면 12월 1일부터 10일까지 서울지역의 평균기온은 영하 4.1℃로 평년대비 6℃이상 낮은 것으로 나타났다. 특히 9일 아침에는 서울 기온이 영하 13.2℃로 27년만의 12월 초순 최저기온을 보였다. 경기도 북부지역에서도 6일째 한파특보가 발효되었으며 이러한 현상은 기상 관측 이래 3차례에 불과했으며 모두 1월에 발효된 것으로 12월로는 처음 있는 현상이다. 가평이 영하 21.4℃, 포천 영하 18.5℃ 등 모두 12월 상순 최저온도를 나타내었다. 기상청 기록에서도 1998년부터 2009년까지 12월에 한파경보가 발효된 사실이 없다는 측면에서 이번 12월 한파는 기상이변이라고 할 수 있다.

우리나라는 겨울철 시베리아의 찬 대륙성 고기압이 우리나라로 확장하면서 강한 계절풍이 되어 차가운 공기를 동반한 강한 바람과 한파가 나타난다. 이러한 차가운 공기가 비교적 따뜻한 서해 해상 또는 동해 해상을 지나면서 습윤해지고 이 습윤해진 공기가 지역에 따라 서해안과 영동지방에 대설을 일으킨다. 이번 한파도 시베리아 고기압이 한반도에 일찍, 자주 영향을 끼치면서 추위가 좀 더 일찍, 좀 더 강하게 시작된 것이다.

기상청에서는 시베리아 고기압을 강화시킨 원인을 크게 3가지로 분석하였는데 첫 번째는 카라/바란츠해(우랄산맥 근처의 북극해)가 아직 얼지 않아서 북극의 찬 공기가 이동하는 통로가 열려있기 때문이다. 이는 지구온난화로 인해서 북극지역의 온도가 상승하면서 과거라면 얼어있어야 하는 지역이 얼지 않아서 발생하는 현상으로 8월의 북극해 바다얼음 면적이 1979년 관측 이래 최소면적을 기록한 것을 통해 확인할 수 있다(기상청). 두 번째는 북극지방을 둘러싼 제트기류가 약해진 것이다. 제트기류는 북극지방의 찬 공기를 가둬두는 '공기벽'이라고 할 수 있으며 보통 지상 10,000m 높이에서 시속 100-250km의 속도로 이동하는 흐름이다. 일반적으로 제트기류는 북극과 저위도 지역의 기압차로 인하여 형성되는데 북쪽의 차갑고 남쪽의 따뜻한 공기가 팽팽히 대립되어 있다가 최근 지구온난화로 인하여 북극 기온이 상승(평년대비 2~5℃ 상승)하여 힘의 균형이 느슨해지면서 제트기류가 띠 모양의 공기벽을 형성하지 못하고 남쪽으로 차가운 공기를 남하시킨 것이다. 12월 한파는 이 제트기류가 한반도 중부지역까지 내려와서 발생된 것이다.

기 | 획 | 특 | 집

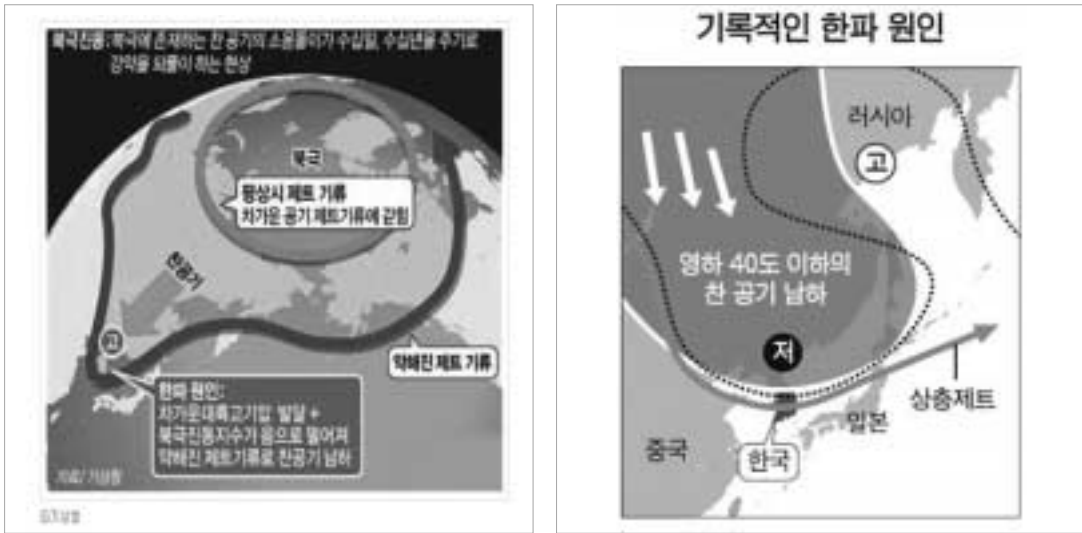


그림 1. 제트기류로 인한 한파의 발생 현상 및 원인(출처, 기상청)

세 번째는 만주지역의 저기압이 시베리아 찬공기를 우리나라 쪽으로 끌어내리면서 추위가 더욱 심해진 것이다. 이는 10월 하순부터 12월 초순까지 시베리아 지역에 눈이 내리면서 지면의 온도가 낮아지고 눈덮힘 면적이 증가함에 따라 지표가 햇빛을 흡수하지 못하고 반사하기 때문이다.

이처럼 3가지 원인은 기상을 전공하는 사람마다 강조하는 부분이 다를 수 있지만 현재의 한파는 지구온난화로 인한 극지방의 온도 상승, 이로 인한 제트기류의 약화, 그리고 따뜻해진 공기가 찬공기와 만나 발생하는 대설로 인한 기온 저하로 정리할 수 있다. 결국 한파를 일으킨 원인은 지구온난화의 영향을 받아 발생한 것으로 과거 이중 하나만 발생해도 한파가 발생했던 것을 본다면 금년은 유난히 추운 겨울이 될 것이 예상된다.

2. 영화 ‘Tomorrow’

재난을 소재로 한 영화는 비교적 흥행에 성공한다는 법칙이 영화산업에는 존재한다. 지금도 회자되는 <타워링>(Towering Inferno, 1974)부터, 자연재난을 다룬 <투모로우>(The Day After Tomorrow, 2004)와 <트위스티>(Twister, 1996)가 대표적이다. 최근 영국에서 만든 <플러드>(Flood, 2007)는 인간이 세운 대비책이 자연 현상 앞에서는 예측범위에 있지 않다는 교훈을 주며, 우리나라에서도 <해운대>(2009) 영화를 통해 쓰나미로 인한 해일에 대한 경각심을 일깨워 주기도 하였다.

본고에서는 지구온난화에 대한 영화로 노벨상을 안겨준 <불편한 진실>(An Inconvenient Truth, 2006)과 <투모로우>가 대표적이나 한파, 추위에 관련해서 보다 영화의 주제가 분명한 투모로우를 통해 영화 속의 가설이 실제 지구온난화와 어떤 영향이 있고 이로 인해 발생하는 한파가 가능성이 있는지 과학적 접근을 통해 기술하고자 한다.



그림 2. 영화 'Tomorrow' 포스터

영화 'Tomorrow'의 오프닝은 넓게 펼쳐진 빙하에서(라르센 B 빙단) 온실가스를 분석하기 위해 기후학자 잭 홀 박사가 보링작업을 하는 장면과 작업 중 빙단 전체가 갈라지는 사건으로 시작한다. 기후변화에 대한 국제회의에서 잭 홀 박사는 지구온난화가 빙하시대를 유발할 수 있다는 주장을 한다. 지구온난화로 인하여 극지방의 얼음이 녹아내리면서 얼음 속 온실가스가 온난화를 더욱 심화시켜 지구를 빙하시대로 만든다는 주장, 즉 지구온난화가 빙하기를 유발할 수 있다는 가정이 'Tomorrow'의 기본이 되는 과학적 가설이다.

영화에서는 빙하기를 유발하는 중간매개체로 조류, 즉 해류를 중요하게 다루고 있다. 북반구의 기후는 북대서양 조류의 영향을 받고, 태양에 의해 적도에서 발생한 열이 조류를 타고 이동하게 되는데, 북극 얼음이 녹게 되면 엄청난 민물이 유입되고, 해당 지역에는 탈염상태가 발생되게 되어 조류의 흐름이 방해받게 되어 결국에는 흐름이 멈추게 되고, 이로 인해 적도 지역의 따뜻한 바닷

물의 유입은 차단되면서 북쪽 지역에 한파가 발생한다. 즉 조류의 변화는 지구의 열순환을 방해하며 결과적으로 빙하기를 초래한다는 가설이 이 영화의 주된 과학적 가설이다. 이러한 근거를 뒷받침하기 위해서 스코틀랜드 해드랜드 기후연구소에서 관측하는 해상 부표의 온도가 급격하게 떨어지는 부분을 반복적으로 보여주면서 이러한 현상을 설명한 기상예측 모델이 주인공이 제시한 선사시대 기후변화(빙하기)를 재구성한 모형 외에는 없다고 스토리를 진행하면서 지구온난화가 조류에 영향을 주어 빙하기가 온다는 영화의 가설이 적합하다고 자연스럽게 풀어간다. 이러한 가설을 보완해주기 위해 NOAA의 상황실에서 대규모 태풍과 주먹만한 우박 등 전세계적으로 동시다발적으로 발생하는 기상이변의 원인을 분석하려는 장면이 있다. 상황회의에서 지구 기온에 전체적으로 영향을 미칠 힘은 태양밖에 없다는 논리가 등장하나 NASA의 박사가 태양은 정상이라는 전개를 통해 주인공인 잭 홀 박사의 주장이 하나의 희박한 가설에서 가능성이 높은 가설로 변하게 되고, 결국 48시간의 슈퍼컴퓨터 사용을 통해 기후모델을 시뮬레이션 하게 된다. 시뮬레이션 결과는 단 기간에 급격하게 극한의 한파가 다가온다는 극적인 상황을 만들며 영화의 초반부를 마무리 한다. 영화는 전반부에서 과학적인 이론 및 전개에 대해 상당부분을 할애하고 중반 이후부터는 영화의 극적인 요소를 살리기 위한 전개 및 특수효과 등을 보여준다. 단 기간에 북반부의 빙하가 발생하는 현상을 설명하기 위해 육지에서 허리케인이 형성되는 부분을 설명하기 위해 기후모델의 시뮬레이션 결과를 시각적으로 보여준다. 이러한 허리케인 모양은 태풍처럼 보이나 실제로는 대기 상층부의 극저온의 공기

기 | 획 | 특 | 집

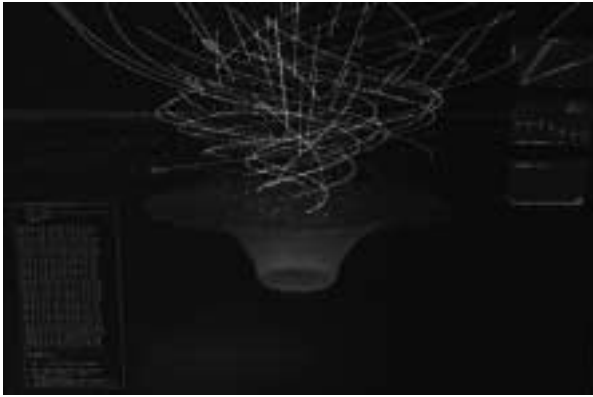


그림 3. 상부의 극저온 공기를 끌어당기는 한파태풍 시물레이션 화면

를 지상으로 당기는 모양이며, 일반적으로는 이러한 형태에서는 지상에 가까워지면서 따뜻해지나, 워낙 차가운 공기의 하강속도가 빨라서 차가워지지 않고 폭풍이 끝나면 빙하가 발생한다고 영화는 주장한다. 더욱 극적인 요소로 이러한 극저온을 유발하는 한파태풍이 북반부에 동시에 3개가 발생하며, 이를 입력변수로 재 모의하면 7일에서 10일 후면 북반부 전체가 한파 또는 사람이 순간적으로 얼어버리는 최악의 시나리오가 발생된다고 이야기를 풀어간다.

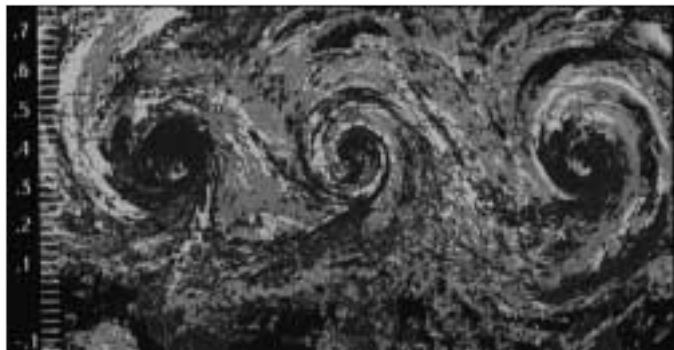
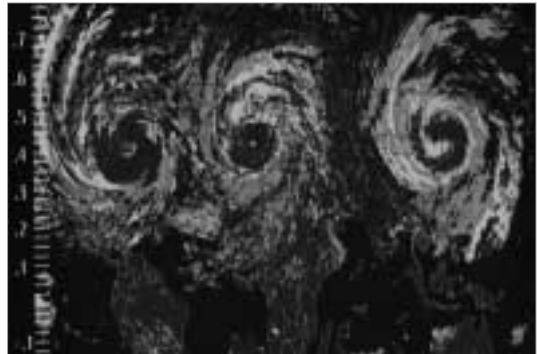
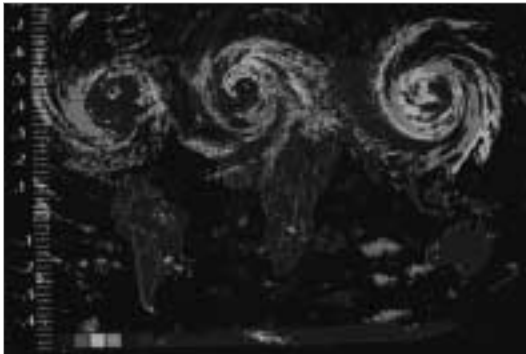


그림 4. 한파 폭풍 발생 시물레이션 결과, 24시간(左上), 48시간(右上), 7~10일 후(下)

결국 적도 지역에 위치한 국가를 제외하면 북반구에 위치한 거의 모든 나라가 사람이 살기 힘든 얼음지대로 변하고, 우주 정거장에서 본 지구의 모습이 그 어느 때보다 깨끗하다는 것을 통해 자연이 스스로 인간이 만든 잘못된 부분을 극단적 방법을 통해 정화한다는 메시지를 주고 이야기를 마무리한다.

3. 영화 'Tomorrow' 속 한파의 과학적 분석

2012년 한파를 엄청난 재난인 영화 'Tomorrow'와 비교하는 것은 과한 부분이 없지 않다. 또한 영화상의 내용이 많이 과장되어 있고, 영화적 요소가 가미되어 정확한 판단이 필요하다는 의견도 있다. 그러나 영화의 흐름상 필요한 과학적 현상이나 이론은 분명 현재의 우리의 환경과 밀접한 관계가 있음은 확실하다. 영화 속의 과학적 가설과 현재의 한파에 대한 다양한 분석을 비교하는 것도 자연재해에 대한 경각심 차원에서 필요하다고 판단되어, 영화 속의 과학적 가설에 대해서 크게 2개로 구분하여 실제 과학 이론과 비교하여 분석하고자 한다.

가. 가설 2 : 빙하가 녹으면 지구온난화가 촉진될 것인가?

지구온난화와 관련된 징후를 가장 잘 보여주는 곳이 북극과 남극이다. 모든 언론과 과학적 논문에서 '지구온난화로 인하여 빙하의 면적이 얼마 감소하였다'라는 보도와 문구를 쉽게 접할 수 있다. 지구온난화의 결과로 나타나는 빙하 녹음이 오히려 온난화를 촉진시킬 것인가에 대한 과학적 접근은 "맞다"라고 할 수 있다.

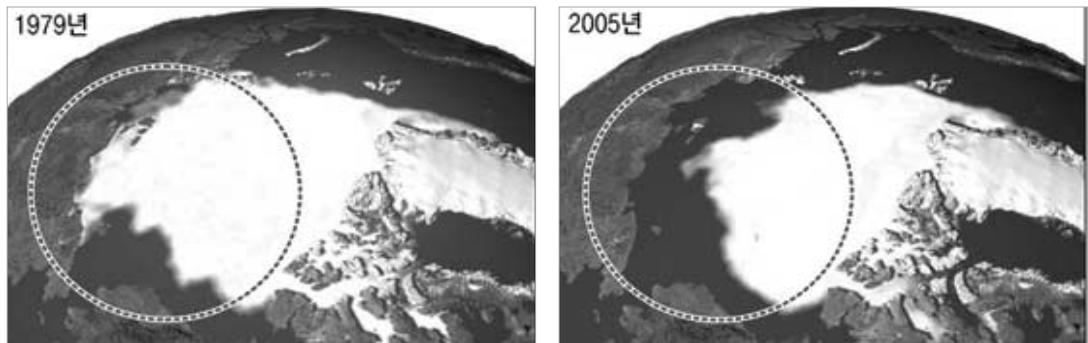


그림 5. 북극 빙하면적의 감소 이미지(출처, 동아일보)

일반적으로 얼음은 거대한 거울처럼 태양 복사에너지를 대부분 반사하지만, 반대로 바다는 흡수하게 된다. 빙하가 녹아서 얼음의 면적이 줄어들면 결국 태양빛을 반사하는 양은 감소하고 흡수하는 양이 증가하여 빙하를 더욱 더 빨리 녹게 만든다. 이러한 내용은 지구온난화를 다룬 '불편한 진실'에서도 엘 고어가 상당시간을 설명한다. 또 다른 측면은 빙하가 녹으면서 북극권 대륙 동토층에 매장돼 있는 메탄(CH₄)가스가 새어나오는 것이다. 그 양이 매우 커서 새어나오는 규모가 증가할 경우에는 지구온난화를 촉진시킬 수 있다. 일반적으로 온실가스에 대한 보고서에서 메탄의 온난화 지수가 이산화탄소(CO₂)보다 무려 21배나 크다는 점은 빙하가 녹으면 지구온난화가 촉진될 거라는 영화의 가설이 과학적 사실임을 의미한다.

추가적으로 빙하는 지구온난화 즉, CO₂ 농도와 밀접한 관계가 있다. 영화 초반에 주인공이 자신의 기후 모델의 입력인자로 빙하를 보령하여 얼음의 두께와 얼음 속에 포함된 CO₂ 농도를 통해 선사시대 기후변화를 모의하는 것도 과학적으로 매우 유의한 분석 방법이며, 이는 영화 '불편한 진실'에서도 빙하기를 설

기 | 획 | 특 | 집

명하는 주요 증거로 제시된다.

나. 가설 2 : 빙하 녹음으로 인해 해류가 변하고 빙하기가 올 것인가?

북극 빙하의 해빙은 지구의 기상, 기후, 해류 순환 전반에 영향을 미친다. 전세계의 바다는 ‘컨베이어 벨트(또는 지구해양 대순환 벨트)’ 이론에 따라 하나의 거대한 띠처럼 연결되어 있다. 이 벨트는 적도의 뜨거워진 바닷물을 극지로 이동시켜 열을 전달하고, 반대로 극지의 차가운 물은 수표면이 아닌 심층 수 형태로 적도로 이동하여 적도의 열을 식혀주는 기후 조절의 역할을 한다. 그림 7에서 붉은 색은 해수 수 표면의 난류의 흐름을 나타내고, 파란색은 심층의 한류를 표시한 것이다.

일반적으로 해류의 발생 원인은 다양하지만 보통 바닷물의 염분농도와 수온의 차이가 큰 영향을 미친다. 남극이나 북대서양 그린란드 바다에서는 바닷물이 깔대기 모양의 물줄기를 형성하며 심해로 내려가는 것이 자주 관측된다. 실제 지구상의 CO2의 약 25%는 바다 속에 흡수되어 있는데 이러한 깔대기 소용돌이 현상이 극지방 주변에서 발생하는 이유는 해수흐름에 의해 극지방에 이송된 물이 차갑고 염도 높은 물로 변한 뒤 바다 속에 가라앉기 때문이며, 이러한 현상이 크게 발생할 때 이러한 깔대기 소용돌이가 발생한다. 바다 속으로 내려간 물 만큼 해수면에서 물의 이동이 발생되고 이러한 연속 현상이 바닷물의 흐름을 발생시키는 것이다.

극지방에서 해빙현상이 증가하면 차가운 담수가 유입되면서 바닷물의 표층과 심층 사이의 수온차이가 줄어들게 되고, 또한 다량의 담수로 인한 염분도 변화하게 된다. 이러한 작용이 지속되면 결국 해수를 돌리는 벨트의 동력원이 약해지게 되고 해류의 순환도 둔화된다. 이는 단순 해류의 문제만이 아니라 대기권 열의 85%를 흡수해 지구 전체에 온기를 전달하는 보일러 파이프가 기능을 못하는 것으로 극지방은 점점 더 추워지고 적도 지역은 점점 더 더워져서 영화에서와 같이 중위도 이상의 지방에 한파 또는 빙하기가 찾아올 수 있으며 이렇게 되는 과정에서 기존과 다른 기상이변 현상이 발생할 수 있다.

지구과학에서 빙하기의 원인은 크게 7개 정도를 들 수 있다. 첫 번째는 약 10만년을 주기로 지구의 공전 궤도가 원에 가까운 모양이 되면서 ‘이심률의 효과’가 발생되어 효과가 최대가 될 때는 빙하기이고 최소가

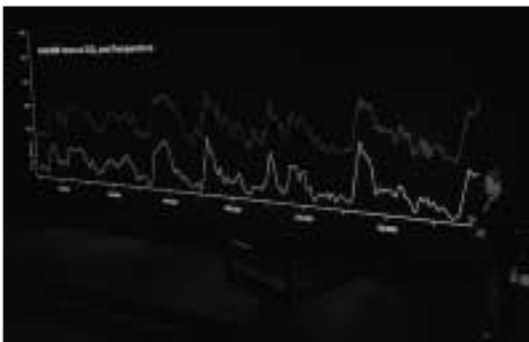


그림 6. 영화 ‘불편한 진실’에서 빙하에서 찾아낸 CO2 농도와 기온 비교 화면



그림 7. 컨베이어 벨트 이론에 따른 해수 흐름도

될 때는 간빙기가 형성된다는 이론이다. 두 번째는 '지구 자전축의 경사 효과'로 자전축 기울기가 최대가 되면 간빙기, 최소가 되면 빙하기가 발달한다는 이론이다. 세 번째는 팽이의 운동으로 표현되는 '세차 운동의 효과'가 원인이며, 네 번째로 '온실가스의 변화와 지구 온난화', 다섯 번째로 '조산 운동과 대륙이동', 여섯 번째로 '태양 활동', 그리고 마지막으로 '해수'를 빙하기의 원인으로 구분한다. 따라서 영화속의 가설은 '온실가스의 변화와 지구 온난화', '해수운동' 이론에 근거하여 과학적인 근거 안에서 설정된 것으로 판단되나, 이러한 현상은 일반적 현상보다는 극한의 조건에서 발생하는 현상이라고 볼 수 있다. 이런 현상이 실제 해류를 멈추게 할 것인지, 아니면 자연이 다른 어떤 현상을 보이며 이를 정상으로 돌려놓을지는 아무도 알 수 없기 때문이다.

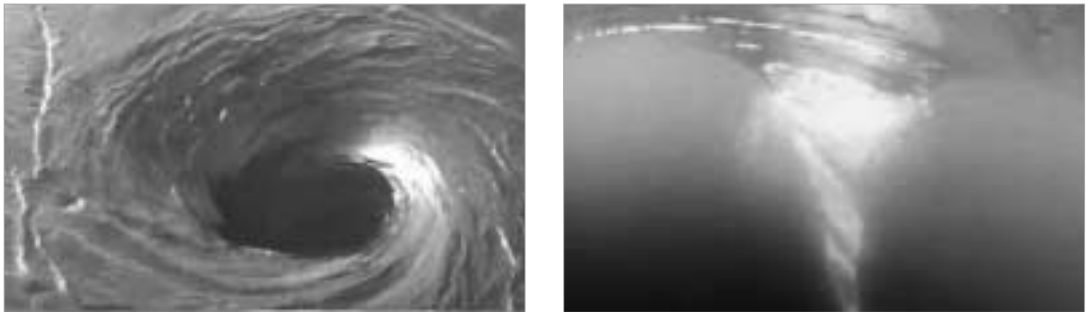


그림 8. 극 지방에서 발생하는 거대 소용돌이 이미지

4. 글을 마치며

2012년 겨울은 이제 초입에 들어섰으나, 매서운 한파 그리고 한차례 폭설을 통해 금년 겨울이 재난관리 측면에서 쉽지 않은 한해인 듯 시위를 하고 있다. 앞으로의 기상전망도 금년 한해가 유난히 추운 한해가 될 것이라는 부분에서 최근 이슈가 되고 있는 겨울철 전력난, 사회 소외계층의 동절기 대책, 폭설에 따른 설해대책 등 다양한 부분에서 사회적 재난이 발생할 가능성도 배제할 수 없다. 이러한 현상이 금년 한해로 끝난다면 상관없겠지만, 내년에도 한파가 반복되고 추운 정도가 조금씩 가중된다면, 우리는 기후학적 시기상 이미 소비하기의 경계선에 있는지도 모른다는 생각이 든다.

영화 'Tomorrow'의 다소 과장되고 극한의 상황에 대해서 많은 걱정을 할 필요는 없으나, 지구온난화로 인하여 온도가 상승되고, 증가한 수증기가 극지방에 유입되어 적설량이 증가하는 현상이 반복된다면 단기간에도 우리 삶에 지대한 영향을 미칠 것임은 분명하다. 이런 현상이 심화되어 실제 해수의 흐름에 영향이 발생한다면 단순히 영화의 상황으로 간주하기에는 자연이 주는 피해정도가 너무 크고, 대처할 시간도 없을 것이다. 영화 '불편한 진실'에 대해서 과장되고 허구라는 과학적 소견도 있지만 영화가 주장하는 지구온난화의 심각성은 현재 우리가 지구온난화로 인한 기후변화 시대에 살고 있고, 이는 언제든지 기상이변에 노출될 수 있음을 잊지 말아야 한다는 경각심을 고취하는데 그 의미가 크다고 할 수 있다. 영화 'Tomorrow'를 통해 혹시 모를 상황에 대한 혹은 자연의 위대함 또는 무서움에 대해서 항상 잊지 않고, 지금보다는 겸손한 자세로 자연을 대해야 하는 우리 인류의 입장을 한번 더 생각해 보며 글을 마친다.